

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Technika tvorby a ochrany životního prostředí

Snížení emisí SO₂ práškového kotle K 14 ETB

SO₂ Emissions Reduction of Pulverized Coal Boiler K 14
ETB

Student :	Miroslav Pajchl
Vedoucí bakalářské práce :	Ing. Michal Stáňa, PhD.

Ostrava 2011

Zadání bakalářské práce

Student: **Miroslav Pajchl**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 3904R016 Technika tvorby a ochrany životního prostředí
Specializace: 70 Technika tvorby a ochrany životního prostředí
Téma: **Snížení emisí SO₂ práškového kotle K14 ETB**
SO₂ Emissions Reduction of Pulverized Coal Boiler K14 ETB

Zásady pro vypracování:

1. Popište kotel, navazující trasy spalin a popílku stávajícího stavu K14 ETB.
2. Popište stávající stav nakládání s vedlejšími energetickými produkty kotle K14 ETB.
3. Popište základní metody snižování emisí SO₂, včetně jejich výhod a nevýhod.
4. Navrhněte vhodnou metodu pro snížení emisí SO₂ kotle K14 ETB, včetně případných úprav na spalinovodech, odpopílkování atd.
5. Určete množství spalin a spotřebu navrženého reagentu.
6. Navrhněte způsoby nakládání s vedlejšími energetickými produkty kotle K14 ETB při použití nově navržené metody snižování emisí SO₂.
7. Posuďte ekonomicky navrženou metodu snižování emisí SO₂.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] Noskovič, P.: Spalování uhlí. VŠB-TU Ostrava, Ostrava 2002, ISBN 80-248-0204-X.
- [2] Ibler, Z. a kol.: Technický průvodce energetika. BEN – technická literatura, Praha 2002, ISBN 80-7300-026-1.
- [3] Vejvoda, J., Machač, P., Buryan, P.: Technologie ochrany ovzduší a čištění odpadních plynů. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2003, ISBN 03-334-17/03.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Michal Stáňa, PhD.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011




prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.
vedoucí katedry


prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 23.5.2011




Miroslav Pajchl

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121 / 2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohou jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111 / 1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 23.5.2011


.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Miroslav Pajchl

Adresa trvalého pobytu autora: Opavská 6125, Ostrava 708 00

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

PAJCHL M. Snížení emisí SO₂ práškového kotle K 14 ETB. Ostrava: katedra energetiky, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2011, 48. s. Bakalářská práce, vedoucí Ing. Michal Stáňa, Ph.D.

Tato diplomová práce řeší případ aplikace odsiřovacího zařízení na kotli K 14 v Elektrárně Třebovice, který při spalování černého uhelného prachu bez použití odsiřování spalín není schopen plnit emisní limity dané současnou legislativou. Společnost Dalkia Česká republika, a.s. se navíc zavázala snížit emise o 10% pod legislativou stanoveným emisním stropem ETB od roku 2010, smlouvou podepsanou mezi Dalkia Česká republika a.s. a Statutárním městem Ostrava. V první části diplomové práce je popsán kotel K 14 a jeho technické vybavení, dále pak nakládání s vedlejšími energetickými produkty při stávajícím provozu. Ve druhé části je uveden stručný popis základních odsiřovacích metod, které se používají v energetice. Třetí část práce je věnovaná popisu odsiřovací metody využívající technologii odsiřování hydrouhličitánem sodným, včetně základního konstrukčního popisu jednotlivých strojních částí a návrhu způsobu nakládání s vedlejšími energetickými produkty, při použití této metody na snížení SO₂.

ANOTATION OF BACHELOR THESIS

PAJCHL M. SO₂ Emissions Reduction of Pulverized Coal Boiler K 14 ETB. Ostrava: Department of Power Engineering, Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical University of Ostrava, 2011, 48 p. Bachelor thesis, supervisor Ing. Michal Stáňa, Ph.D.

The thesis deals with the use of desulphurization equipment in the boiler K 14 in Power Plant Třebovice which is not capable to meet emission limits given by legislation without the application of flue gas desulphurization when combusting black coal dust. The first part of the thesis describes the boiler K 14 and its technical equipment and continues with the treatment of secondary power products within the existing operation. The second part is concerned with the brief description of basic desulphurizing methods used in power engineering. The third part focuses on the description of desulphurizing method which uses the technology of desulphurization by sodium bicarbonate, including the basic constructional description of individual machine parts and the proposal of secondary power products treatment when applying this method of SO₂ reduction.

Obsah bakalářské práce

Seznam použitých veličin	9
Seznam použitých indexů	9
Seznam použitých zkratk	9
1. Úvod	10
2. Technický popis kotle, navazující trasy spalin a popílku K 14 ETB	12
2.1 Výrobní data kotle	12
2.2 Technická data kotle	12
2.2.1 Množství vyrobené páry	12
2.2.2 Teplota přehřáté páry na výstupu z kotle	12
2.2.3 Teplota napájecí vody	12
2.2.4 Údaje o palivu, spotřební normy	13
2.3 Stručný popis kotle	14
2.3.1 Odpařovací systém	14
2.3.2 Napájení kotle	15
2.3.3 Přehříváky páry	15
2.3.4 Podávání prášku do hořáků	15
2.3.5 Spalovací vzduch	16
2.3.6 Kouřové plyny	16
2.3.7 Elektrostatický odlučovač popílku	17
2.3.8 Kouřový ventilátor	18
2.3.9 Odstruskování ohniště	19
3. Nakládání s vedlejšími energetickými produkty kotle K 14 ETB	19
3.1 Popílek	19
3.2 Struska	20
4. Základní metody snižování emisí SO ₂ , jejich výhody a nevýhody	20
4.1 Snižování obsahu síry v uhlí	20
4.1.1 Mechanická separace pyritické síry	20
4.1.2 Chemické postupy	21
4.1.3 Biologické odstraňování	21
4.2 Odsiřování spalin	21
4.2.1 Mokré odsíření	22
4.2.2 Polosuché odsíření	23
4.2.3 Suchá aditivní vápencová metoda	25
4.2.4 Suché odsíření hydrogenuhličitanem sodným	26
5. Metoda pro snížení emisí SO ₂ vhodná pro kotel K 14 ETB, včetně úprav na spalínovodech a odpopílkování	27
5.1 Technická data technologie snížení emisí SO ₂	28
5.2 Skladovací silo 150 m ³	28
5.2.1 Technické údaje	29
5.2.2 Vybavení vrchlíku sila	30
5.2.3 Příslušenství vrchlíku sila - odprašovací filtr	30
5.3 Vzdušník 5m ³	31
5.4 Pneumatická doprava ze stáčiště do provozního sila	31
5.5 Provozní silo 5m ³	32
5.6 Úprava a doprava redukčního přípravku do spalínovodu kotle K14 ...	33
5.6.1 Mlýn	35
5.6.2 Dopravní ventilátor	35
5.7 Rotační turniket	36

5.8	Dávkovací šnek	36
6.	Určení množství spalin a spotřeby reagentu.....	37
6.1	Parametry paliva	37
6.1.1.	Přepočet prvkového rozboru na surový stav	37
6.1.2.	Výpočet spotřeby paliva.....	39
7.	Způsob nakládání s vedlejšími energetickými produkt kotle K 14 při použití nové metody snižování emisí SO ₂	44
7.1.	Popílek.....	44
7.2.	Struska.....	44
8.	Ekonomické posouzení navržené metody snižování emisí SO ₂	44
9.	Závěr	45
10.	Seznam použité literatury	46
11.	Seznam obrázku.....	47
12.	Seznam tabulek.....	47

Seznam použitých veličin

A	popel	[%]
C	uhlík	[%]
m_{NaHCO_3}	množství hydrogenuhličitanu sodného (hmotnostní tok)	[kg/s]
m_{pal}	množství paliva	[kg/s]
m_s	množství síry (hmotnostní tok)	[kg/s]
N	dusík	[%]
O	kyslík	[%]
p_c	tlak vzduchu	[kPa]
Q_i^r	výhřevnost paliva	[MJ/kg]
Q_k	výkon kotle	[MW]
S	síra	[%]
t_{vz}	teplota vzduchu	[°C]
W	voda	[%]
φ	relativní vlhkost	[%]
η_k	účinnost kotle	[%]

Seznam použitých indexů

sk	skutečné
stech	stechiometrie
r	surový (spalovaný stav)
daf	hořlavina (palivo bez vody a popela)
d	sušina, suchý stav

Seznam použitých zkratk

VŠB	Vysoká škola báňská
ETB	Elektrárna Třebovice
K 14	kotel K 14
MLO	mlýnský okruh
LTO	lehký topný olej

1. Úvod

Spalováním fosilních paliv při výrobě elektrické a tepelné energie dochází k uvolňování různých znečišťujících látek, které mají negativní vliv na životní prostředí. Jednou skupinou znečišťujících látek jsou oxidy síry, které vznikají hořením spalitelné síry obsažené v palivu. Množství produkce oxidů síry nelze nijak ovlivnit řízením spalovacího procesu. Jedná se o jedny z nejnebezpečnějších škodlivin vznikajících spalováním uhlí. Oxidy síry mají toxické vlastnosti na flóru i faunu již v malých koncentracích kolem 0,5 až 0,7 mg/m³. Zvýšená koncentrace SO₂ způsobuje u člověka obecně problémy s horními cestami dýchacími. Dále je prokázána snížená tvorba červených krvinek a u dětí je prokázáno zpomalení kostního zrání. Na flóru působí zvýšená koncentrace SO₂ dvojím způsobem, a to přímo na rostliny, nebo nepřímo různými sírany v půdě. Působení SO₂ na flóru se projevuje blednutím a postupným hnědnutím listů až jejich následným odumíráním.

Oxidy síry přímo působí i na zařízení elektrárny, a to zejména na spalínový trakt, u kterého může při snížení teploty spalin pod rosný bod dojít ke kondenzaci vody obsažené ve spalinách a její reakci s oxidy síry. Následkem této reakce vzniká H₂SO₄, která způsobuje nadměrnou korozi strojních součástí spalínového traktu. Z těchto důvodů je nezbytné vypouštění oxidů síry snížit na co nejmenší úroveň. Pro snižování oxidů síry je ve světě známo mnoho metod, které jsou v různých stádiích vývoje.

U nově zřizovaných elektrárenských bloků je již vybudování odsiřovacích zařízení dáno legislativou. U stávajících zařízení je nutné vybudovat odsiřovací zařízení dodatečně tak aby i ony splňovaly požadavky dané legislativou. Při zřizování dodatečných odsiřovacích zařízení je důležité vzít v úvahu aspekty, jako jsou například: pořizovací náklady, provozní náklady, životnost stávajícího zařízení, prostorové možnosti a mnoho dalších, podle kterých se určí vhodný druh odsiřovací metody.

Tato diplomová práce řeší případ aplikace odsiřovacího zařízení na kotli K 14 v Elektrárně Třebovice, který při spalování černého uhelného prachu bez použití odsiřování spalin není schopen plnit emisní limity dané současnou legislativou.

V první části diplomové práce je popsán kotel K 14 a jeho technické vybavení, dále pak nakládání s vedlejšími energetickými produkty při stávajícím provozu. Ve druhé části je uveden stručný popis základních odsiřovacích metod, které se nejčastěji používají v energetice. Ve třetí části je uveden popis odsiřovací metody využívající technologii odsiřování hydrouhličitánem sodným, včetně základního konstrukčního popisu jednotlivých strojních částí a návrhu způsobu nakládání s vedlejšími energetickými produkty, při použití této metody na snížení SO₂.

2. Technický popis kotle, navazující trasy spalin a popílku K 14 ETB

2.1 Výrobní data kotle

Parní kotel č.14 (K 14) je určen pro spalování uhelného (ostravského) prachu.

Výrobní číslo	3001
Rok výroby	1953
Do provozu uveden	21.5.1955
Výrobce	Vítkovické železářny a strojírny

2.2 Technická data kotle

Jmenovitý výkon	161 MWt
Minimální výkon	80 MWt

2.2.1 Množství vyrobené páry

Při jmenovitém výkonu	220 t.h ⁻¹ (61,11 kg.s ⁻¹)
Při minimálním výkonu	110 t.h ⁻¹ (30,55 kg.s ⁻¹)
Tlak přehřáté páry na výstupu z kotle	10,89 MPa

2.2.2 Teplota přehřáté páry na výstupu z kotle

Jmenovitá	535 °C
Maximální	543 °C
minimální	527 °C

2.2.3 Teplota napájecí vody

Jmenovitá	180 °C
Maximální	200 °C

2.2.4 Údaje o palivu, spotřební normy

Uhlí - hlavní palivo, LTO - doplňkové palivo.

Spotřeba uhlí 15 t.h⁻¹ (1x MLO)

Výhřevnost projektovaná 24 ± 1 MJ.kg⁻¹

Vlastnost:	Rozměr:	Hodnota:	
<i>Pevné - černé uhlí</i>		<i>černý prach</i>	<i>proplástek, kaly</i>
Surové - Q ^r	[MJ.kg ⁻¹]	21,5 - 28,9	16,5 - 23,2
W ^r	[%]	2,4 - 8,8	5,0 - 11,9
A ^r	[%]	8,8 - 28,9	22,8 - 43,0
S ^r	[%]	0,27 - 0,65	0,27 - 0,65
Bod deformace ID	[°C]	1265 – 1445	1305 – 1320
Bod měknutí ST	[°C]	1280 – 1460	1280 – 1345
Bod taní HT	[°C]	1330 – 1480	1370 - 1385
Bod tečení FT	[°C]	1405 – 1510	1395 – 1480

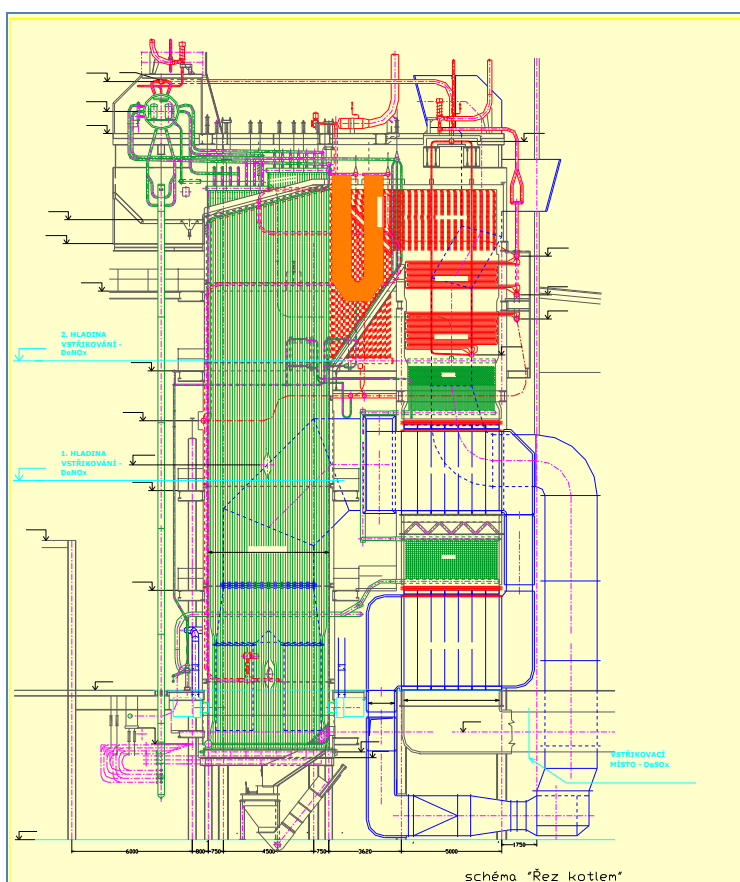
Kapalné – LTO

Výhřevnost	[MJ.kg ⁻¹]	41 - 43,3
Hustota při 20 °C	[kg.m ⁻³]	830 - 910
Kinematická viskozita při 40 °C	[mm ² .s ⁻¹]	3,2 - 18,0
Bod vzplanutí	[°C]	55 - 90
Bod tuhnutí	[°C]	-15
Obsah síry	[%]	0,2 - 1,0
Obsah vody	[%]	0,01 - 0,50
Obsah mech.nečistot	[%]	0,01 - 0,12
Popel (po spálení)	[%]	0,01 - 0,10

2.3 Stručný popis kotle

2.3.1 Odpařovací systém

Kotel je proveden jako práškový, strmotrubnatý s výtavným ohništěm. Pohyb vody v kotli se děje přirozenou cirkulací. Kotel je vybaven kotlovým tělesem. V trubkových stěnách ohniště vzniká směs páry a vody, která se zavádí do odlučovacího kotlového tělesa. V kotlovém tělese se vlastní tíží odlučuje voda od páry. Odloučená pára se převádí do komory KP 0, umístěné nad kotlovým tělesem. Voda z kotlového tělesa se dopravuje samospádem pěti zavodňovacími potrubími na ∇ 3,0 m. Ze zavodňovacích spádových potrubí přechází voda pomocí vodních spojek do komor, které tvoří patu trubnatých stěn a dna tavícího prostoru ohniště kotle. Kotel se odluhuje regulačním ventilem z kotlového tělesa, kde má kotelní voda nejvyšší zahuštění. Kotel se pravidelně odkaluje ze spodních komor varného systému a sběrných jímek, umístěných na spodním konci spádovek. Schéma kotle je na obrázku 2.1.



Obrázek 2.1 – Schéma kotle

2.3.2 Napájení kotle

Kotel je vybaven trojimpulsovou regulací napájení. Regulace ovládá regulační ventily napájecí předlohy. V době najíždění kotle je využit pouze signál od úrovně hladiny z bubnu a kotel je napájen regulačním ventilem umístěným v obtoku. Tento ventil je schopen zpracovat velké tlakové spády při plnění a najíždění kotle. Po dosažení parametrů páry přechází napájení na regulační ventil v hlavní větvi a do regulace je připojen signál o množství páry. Napájecí voda se předeřívá v ohříváku napájecí vody č.1, umístěném v druhém tahu mezi ohříváky vzduchu a dále v ohříváku napájecí vody č.2, umístěném nad horním ohřívákem vzduchu a je zaváděna do kotlového tělesa přes „sprchový“ systém, umístěný v prostoru nad cyklony.

2.3.3 Přehříváky páry

Prvním stupněm přehříváků je přehřívák č.1, umístěný v druhém tahu kotle. Pára ohřátá v přehříváku č.1 proudí do sálavého přehříváku č.2, umístěného na přední stěně a stropu kotle. Ze sálavého přehříváku č.2, vstupuje pára do šotového přehříváku č.3, umístěného pod stropem na přechodu kouřových plynů ze spalovací komory do druhého tahu. Z šotového přehříváku č.3 proudí dále pára do výstupního přehříváku č.4, kde se dohřívá na předepsanou teplotu a odtud výstupním parním potrubím vystupuje přes parní šoupátko PŠ 131 (HKU) do spojovacích parovodů ET II a proudí ke spotřebičům (TG, RCHS).

2.3.4 Podávání prášku do hořáků

Do ohniště je prášek podáván dvanácti komůrkovými podavači, umístěnými po šesti pod výsypkami zásobníků uhelného prášku. Podávače jsou vybaveny asynchronními motory s planetovou převodovkou a jejich otáčky jsou řízeny frekvenčními měniči v závislosti na požadovaném výkonu kotle. Teplým primárním vzduchem se prášek z podavačů dopravuje do dvanácti hořáků v rozích ohniště. V každém rohu spalovací komory jsou zabudovány tři hořáky. Hořáky jsou namířeny na středovou kružnici \varnothing 1200 mm. Výtokový otvor je umístěn ve středu zadní stěny spalovací komory nad dnem. Prášek v ohništi se

mísí se sekundárním vzduchem. Výstupní rychlost vzduchu zajišťuje dobrou turbulenci proudění v tavícím prostoru a tím vznik co nejvyšších teplot nad jeho dnem. Zapálení prášku při najíždění kotle je zajištěno dvěma olejovými hořáky OERTLI s tlakovým rozprašováním paliva. Olejové hořáky jsou stabilně umístěné na kotli.

2.3.5 Spalovací vzduch

Spalovací vzduch se nasává od stropu kotelny, případně zvenku a nebo smíšený (tj. studený z venku a teplý z kotelny) dvěma osovými vzduchovými ventilátory, vybavenými regulačními lopatkami. Za každým ventilátorem jsou dálkově řízené regulační žaluzie. Vzduch se ohřívá spaliny ve dvoustupňovém celokovovém trubkovém ohříváku vzduchu bez zazdívky. Za prvním stupněm má mít vzduch teplotu do cca 180 °C. V druhém stupni ohříváku se ohřívá vzduch na teplotu cca do 400 °C v závislosti na teplotě napájecí vody a výkonu. Část takto ohřátého vzduchu se odebírá jako sušící a nosné médium pro mlecí okruhy kotle a část se odsává dvěma primárními ventilátory jako primární vzduch pro dopravu prášku. Oba primární ventilátory dodávají vzduch do společného podkovitého potrubí okolo kotle, z něhož se odebírá vzduch pro jednotlivé podavače prášku. Zbývající teplý vzduch je vzduchem sekundárním a rozvádí se kanály sekundárního vzduchu do hořákových skříní.

2.3.6 Kouřové plyny

Hlavní část spalování probíhá v ohništi přímo nad dnem. Teplota plamene nad struskovou lázní se dle kvality paliva pohybuje v rozmezí 1550 – 1650 °C při maximálním výkonu kotle. Na výstupu z ohniště je teplota kouřových plynů cca 1000 °C. V dodatkovém přehříváku se kouřové plyny ochlazují na teplotu cca 600 °C. Před ohřívákem napájecí vody č. 2 se dělí na pravou a levou polovinu vyplněné ohříváky vzduchu a ohřívákem napájecí vody č.1. Dále je na straně kouřových plynů kotel vybaven elektroodlučovačem.

2.3.7 Elektrostatický odlučovač popílku

Elektrostatický odlučovač slouží k odloučení popílku (tuhých emisí) z kouřových plynů.

Technická data elektrostatického odlučovače

Výrobce	ZVVZ Milevsko
Typ	EKH 2-28-12-3x8-180-3,5-1 (PM 12 4356)
Rok výroby	1993
Výrobní číslo	934 054
Počet sekcí	2 x 3 paralelně
Počet řad	28
Počet US elektrod v řadě	8
VN elektrody	hrotové pásky ve všech sekcích
Usazovací plocha	cca 10 494 m ²
Množství spalin	40,8 – 85 m _N ³ .s ⁻¹ – dle výkonu kotle a teploty napájecí vody
Provozní teplota	160 – 170 °C
Maximální teplota	195 °C
Měrná hmotnost spalin	0,777 kg.m ⁻³
Koncentrace popílku ve spalinách	7 – 17 g. m _N ⁻³
Tlak. ztráta kotle (bez rezervy)	1200 Pa
Tah komínu (ponechán jako rez.)	250 Pa

Popis funkce nabíjení a usazování popílku na elektrodách

Kouřové plyny vstupují do elektrostatického odlučovače přes vstupní díl a zde se popílek unášený kouřovými plyny nabíjí a odlučuje.

Nabíjení se děje tím, že se na popílek vážou záporné částice ionizovaného plynu a v oblasti silného elektrického pole mezi elektrodami napájenými usměrněným napětím jsou záporně nabitě částice přitahovány k usazovací elektrodě. Usazené částice vytváří na elektrodách vrstvu, která je odstraňována

v pravidelných intervalech oklepáváním a popílek je odváděn do výsypek elektrického odlučovače.

Některé částice získávají také kladný náboj a usazují se na vysokonapěťových elektrodách záporné polaritě a je nutné i tyto oklepávat. Důležitou podmínkou řádného průběhu odlučovacího procesu je účinné a pravidelné čištění elektrod obojí polaritě od odloučeného prachu oklepáváním. Silná usazená vrstva na elektrodách může zavinit nestabilní chod napájecího zdroje a značně snížit odlučivost elektrostatického odlučovače.

Údaje o zachyceném popílku

Předpokládané rozdělení množství odloučeného popílku na jednotlivé výsypky při provozu elektroodlučovače:

I a IV. sekce	cca 90 %
II a V. sekce	cca 8 %
III a VI. sekce	cca 2 %

Výsypky

Výsypky tvoří spodní část skříně elektroodlučovače, jsou ocelové jehlancového tvaru. Každá výsypka je dále opatřena revizními dvířky a nátrubky pro měření hladiny popílku ve výsypkách.

Popílek zachycený elektroodlučovačem je odváděn z výsypek sekce EO 131, 132, 134, 135 přes rotační podavače do pneumatických žlabů, kterými je popílek pomocí čeřícího vzduchu dopravován do mezizásobníku a odtud zase pomocí vzduchu dopravován do zásobníku popelovin.

2.3.8 Kouřový ventilátor

Ventilátor je umístěn na $\nabla 0,0$ m za elektrostatickým odlučovačem popílku v uložení horizontálním. Kouřový ventilátor zajišťuje odtah kouřových plynů z kotle potrubím přes elektrostatický odlučovač do komína. Sací výkon ventilátoru musí být tak velký, aby překonal aerodynamické odpory jednotlivých částí kouřovodu a elektrostatického odlučovače popílku a udržel ve spalovací komoře potřebný podtlak.

Technická data ventilátoru

Celkový tlak ventilátoru	2200 Pa
Teplota spalin	195 °C
Měrná hmotnost spalin	0,8 kg.m ⁻³
Průměr oběžného kola	D = 2500 mm
Otáčky oběžného kola	595 ot.min ⁻¹
Příkon na hřídeli ventilátoru	Pp 520 kW
Moment setrvačnosti ventilátoru	909 kg.m ²

2.3.9 Odstruskování ohniště

Struska vytéká výtokovým otvorem umístěným nad dnem uprostřed zadní stěny spalovací komory do vychlazovací nádrže. Korečkovým vynašečem přes drtič je struska dopravována splavovacími žlaby a vynašečem strusky v HO do struskových usazovacích jímek. [4]

3. Nakládání s vedlejšími energetickými produkty kotle K 14 ETB

3.1. Popílek

Popílek byl do roku 2010 z části dopravován pseudopravou do výrobní tvárnic v Třebovicích a z části hydrodopravou do usazovacích nádrží. Po naplnění usazovacích nádrží byl odtěžen a část byla použita na výrobu zálivkové směsi při likvidaci důlních děl. Zbytek popílku byl uložen na skládce odpadů.

V roce 2009 byl postaven nový zásobník suchých popelovin, který byl uveden do provozu roku 2010. Popílek je pomocí cisteren odvážen jako produkt do závodu na výrobu cementu a sypkých stavebních hmot.

3.2. Struska

Strusku odebírá firma, která tento vedlejší energetický produkt po rozdrobení používá na tryskání litinových segmentů a ocelových konstrukcí.

4. Základní metody snižování emisí SO₂, jejich výhody a nevýhody

V případě tepelné elektrárny spalující uhlí existují dva základní způsoby vedoucích ke snížení emisí SO₂.

- Snižování obsahu síry v uhlí
- Snižování obsahu síry ve spalínách

4.1 Snižování obsahu síry v uhlí

Obsah síry v uhlí se pohybuje v rozmezí 0,5 % až 10 % hmotnosti podle druhu i místa původu uhlí. České hnědé uhlí má asi 1 až 3 % síry. Černé uhlí má obsah síry nižší než hnědé uhlí, většinou se pohybuje kolem 1 %. Síra v uhlí se vyskytuje v pyritické formě (FeS₂), v různých organických sloučeninách, v podobě síranů a může být i ve formě čisté. Každá z těchto forem síry vyžaduje k odsíření uhlí jinou technologii. Předpokládá se, že veškerá síra obsažená v palivu přechází při dokonalém spalování do spalín ve formě SO₂ a malá část, u hnědé uhlí asi 5 %, přechází do popela. Ke snížení množství SO₂ vzniklého spálením uhlí, lze uplatnit některou z metod snižujících obsah síry v uhlí. [6]

4.1.1 Mechanická separace pyritické síry

Organická síra je součástí uhlí a představuje 30 až 70 % veškeré síry ve většině druhů uhlí. Maximální měrná hmotnost uhlí je asi 1,8 g.cm⁻³ a pyritické síry asi 5 g.cm⁻³. Tohoto rozdílu měrných hmotností se využívá při snižování obsahu pyritu v uhlí při tzv. fyzikální separaci. To se provádí tak, že se uhlí rozeleme na jemné části a vypere v kapalině. Proudem kapaliny jsou unášeny částice uhlí, které jsou lehčí, zatímco těžší zrnka pyritu síry se usazují. Tímto způsobem lze v uhlí snížit obsah pyritu o 30 až 60 %, ale za cenu vysokých energetických ztrát. [6]

4.1.2 Chemické postupy

Další metodou snižování obsahu síry v uhlí je využití chemických reakcí. Existuje jich mnoho, ale jsou ekonomicky náročné a komplikované. Pro příklad jsou uvedeny následující způsoby.

Odstranění pyritu vyluhováním (způsob Myersův)

Při této metodě se uhlí za zvýšeného tlaku a teploty (90 až 130 °C) vyluhuje roztokem $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$. Vzniká síran železnatý, který se regeneruje oxidací vzdušným kyslíkem. Odstraní se pyritická síra a obsah organicky vázané síry se nemění. [9]

Gravimelt

Metoda Gravimelt byla vyvinuta v USA koncem 80. let pro odsíření černého uhlí. Tato metoda spočívá v extrakci popelovin z rozemleté uhelné hmoty roztaveným NaOH při teplotě 320 až 415°C. Po promytí se získá uhelná hmota s obsahem popelovin cca 1%. Tato metoda se průmyslově nevyužívá. [9]

4.1.3 Biologické odstraňování

Desulfurační bakterie odbourávají FeS_2 a vzniká kyselina sírová. Proces probíhá velice pomalu a vyžaduje teploty nad 16 °C. U nás tato metoda nemá zřejmě perspektivu. [9]

4.2 Odsiřování spalin

Odsiřování spalin je dnes ve velkém měřítku užívanou metodou snižování emisí SO_2 v energetice. Patří zde celá řada metod, založených na nejrůznějších chemických či fyzikálně-chemických principech.

Základním principem odsiřování spalin je aplikace absorpčních látek do proudu spalin. Tyto látky reagují s oxidy síry a poté jsou ze spalin odstraněny.

Metody odsiřování spalin lze systematicky rozdělit do několika skupin dle různých požadavků na technologii.

Podle cirkulace aktivní látky:

a) Regenerační metody

Při těchto metodách aktivní látka poté co absorbuje SO₂ ze spalin je regenerována a opět připravena k absorpci.

b) Neregenerační metody

Aktivní látka reaguje s oxidem siřičitým a proces opouští jako produkt odsíření. Tyto metody jsou označovány jako průtočné.

Podle konzistence aktivní látky:

a) Mokré metody

b) Polosuché metody

c) Suché metody

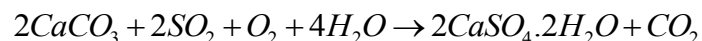
4.2.1 Mokré odsíření

Tato metoda je nejpoužívanější při odsířování nových velkých elektrárenských bloků v České republice. U stávajících elektrárenských bloků je většinou problém s umístěním technologie mokrého odsíření z důvodu nedostatku volného prostoru. Vzhledem k finanční náročnosti výstavby mokrého odsířování, je nutné přihlídnout ke stáří kotlů a jejich předpokládané době životnosti.

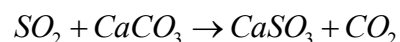
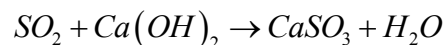
Při mokrému odsíření se proud spalin propírá v lázni uhličitanu vápenatého, přičemž dochází k vázání oxidu siřičitého do vodné suspenze uhličitanu nebo hydroxidu vápenatého a následná oxidaci vzniklého siřičitanu na síran vápenatý, který se poté odděluje a deponuje nebo zpracovává na sádro.

Tento proces popisují následující chemické rovnice.

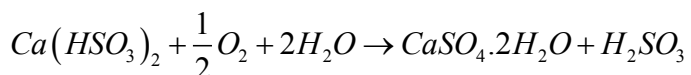
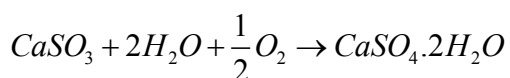
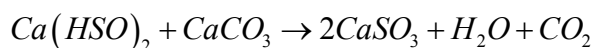
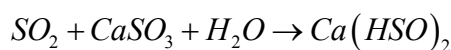
Sumárně:



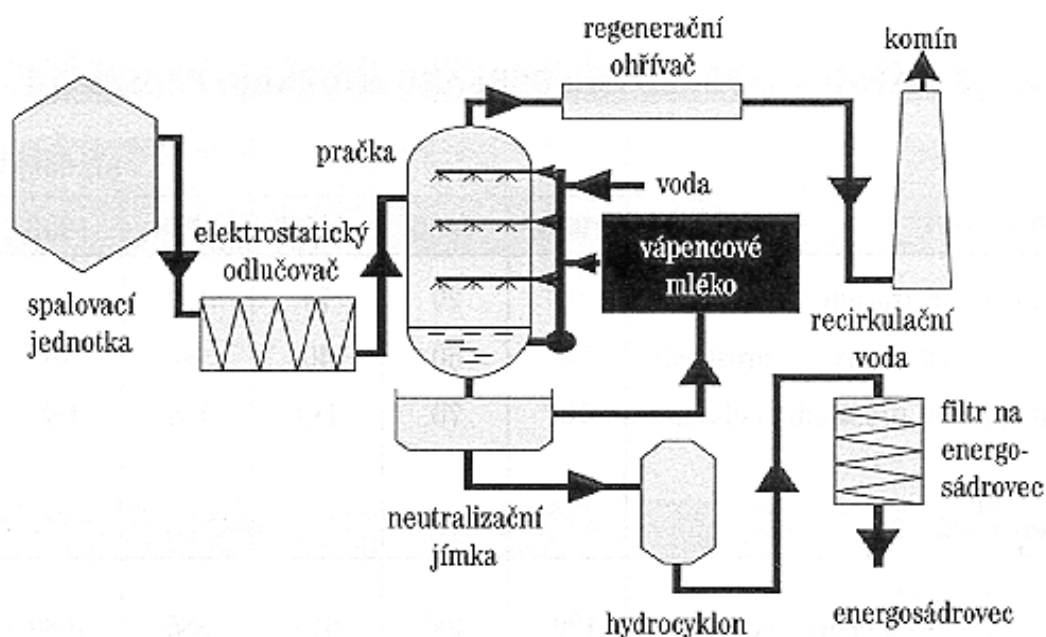
Podrobně:



Vzniklý CaSO_3 reaguje dále:



Tato metoda dosahuje účinnosti 94% při 1,1 – 1,2 násobku proti stechiometrii. Minimální možné dosažené emise SO_2 činí cca 50 mg/m_N^3 . Schéma této metody je na obrázku 4.1.

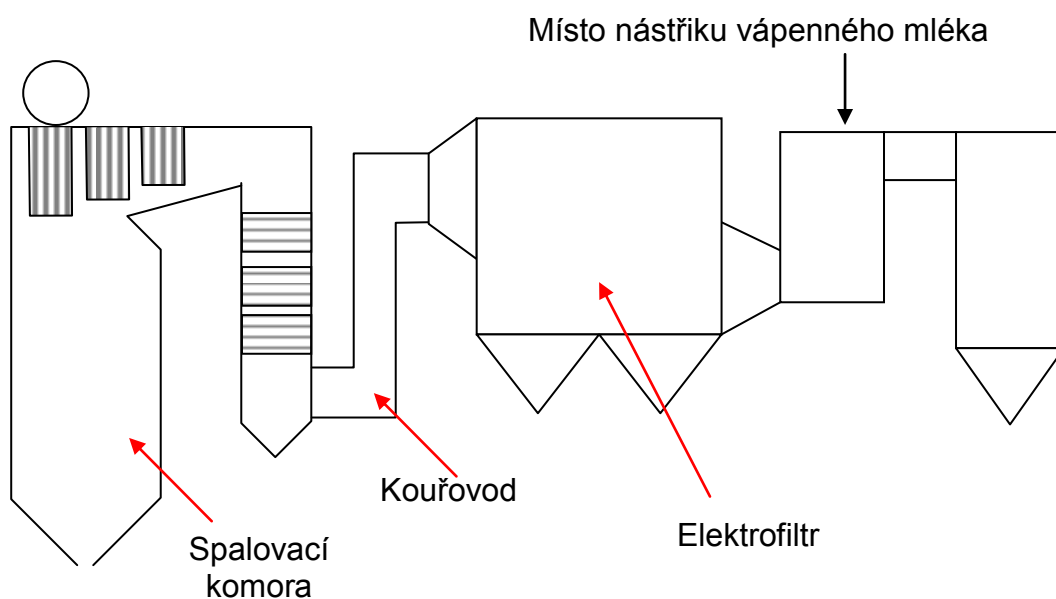


Obrázek 4.1 – Schéma mokré odsiřovací metody [2]

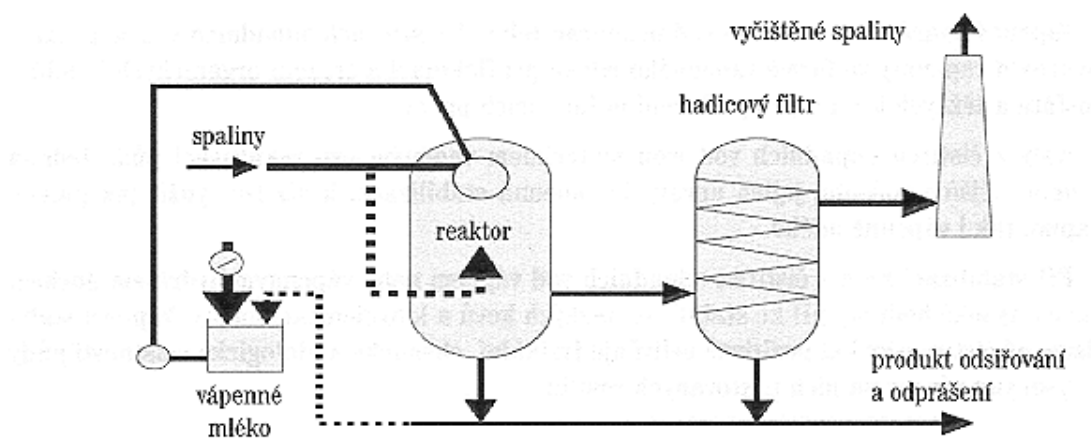
4.2.2 Polosuché odsíření

Tato metoda, jak je již zřejmé z názvu napovídá, že je něco mezi suchým a mokrým odsiřováním. Princip této metody spočívá ve vstřikování vápenného mléka do proudu spalin o teplotě $140 - 250^\circ\text{C}$. Při reakci dochází k absorpci

s oxidem siřičitým. Následuje částečná oxidace na síran vápenatý a zároveň dochází k odpaření vody. V elektrodlučovači, případně ve tkaninových filtrech (viz obrázek 4.3), se zachytí směs síranu a siřičitanu vápenatého s popílkem a nezreagovaným CaO. V důsledku zlepšení stupně zreagování CaO se část zachyceného úletu recirkuluje. Účinnost této metody dosahuje až 92% při přebytku oproti stechiometrii 1,8. Minimální možné emise SO₂ dosahují 80mg/m_N³. Zbytky ve spalinách se skládají ze 70% siřičitanu vápenatého, 20% síranu vápenatého a 10% vápna odděleného od popeloviny. Na obrázku 4.2 je vyznačeno místo nástřiku vápenného mléka.



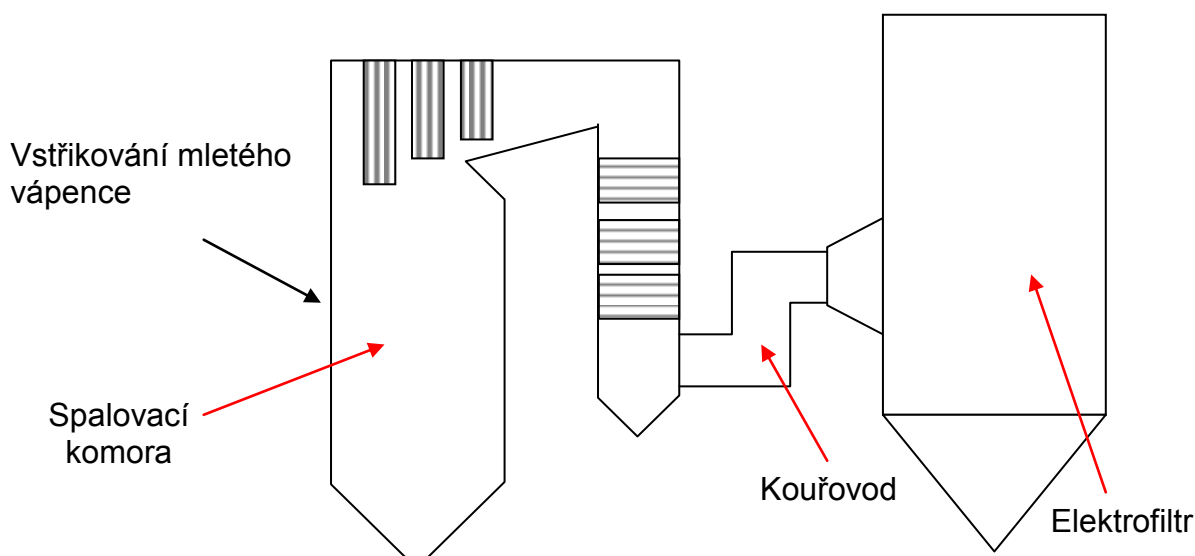
Obrázek 4.2 – Schéma polosuché odsiřovací metody



Obrázek 4.3 – Schéma vstřiku a odloučení vápenného mléka po reakci [2]

4.2.3 Suchá aditivní vápencová metoda

Tento způsob odsiřování spočívá v dávkování jemně mletého vápence do spalovacího prostoru kotle za vysoké teploty. Zde dojde k navázání oxidů síry na vápenný iont a látka jako produkt odsiřování odchází s proudem spalin do elektroodlučovače, kde se spolu s popílkem odloučí. Účinnost této metody dosahuje při dávkování aktivní látky na úrovni 4x stechiometrie asi 50%, přičemž minimální možné emise činí cca 800 mg.m_N^{-3} . V popílku zůstane siřičitan vápenatý (CaSO_3) a přebytečné nehašené vápno smíchané s popílkem. Schéma odsiřování suchou aditivní vápencovou metodou je znázorněno na obrázku 4.4.



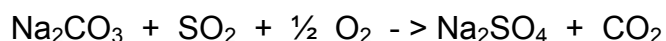
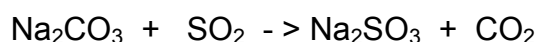
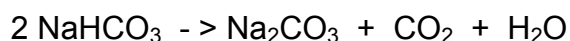
Obrázek 4.4 – Schéma suché aditivní vápencové metody

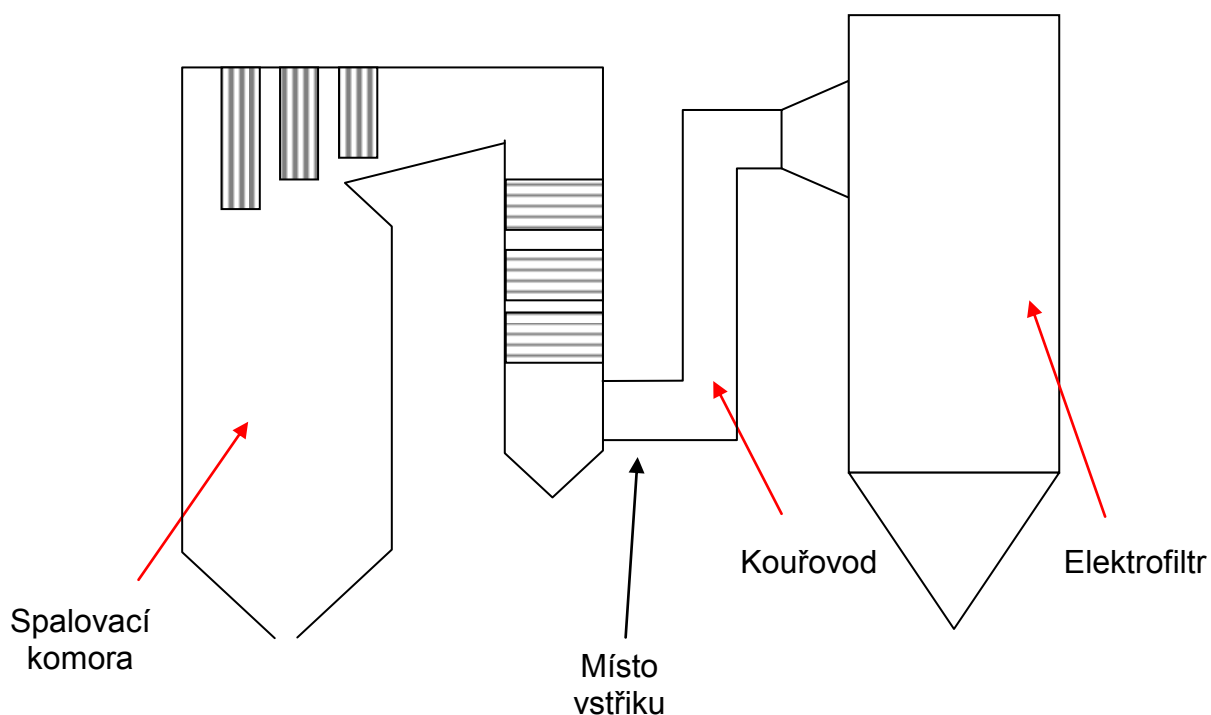
4.2.4 Suché odsíření hydrogenuhličitanem sodným

Princip metody odsířování pomocí NaHCO_3 , je podobný jako suchá aditivní vápencová metoda. Aplikuje se směs aktivní látky se vzduchem do proudu spalin viz. obrázek 4.5. Výhodou této metody je, že nedochází ke vstřikování aktivní látky do oblasti ohniště, což si vyžaduje reaktivnost vápna s SO_2 při vysokých teplotách, nýbrž se aktivní látka vstřikuje do spalínového traktu. Toto je umožněno největší účinností reakce NaHCO_3 s SO_2 v teplotním poli 140 až 250 °C. Nejvhodnější umístění vstřikovacích trysek vzhledem k teplotě spalin je na začátku spalínového kanálu, což je v našem případě za druhým tahem kotle. Umístěním vstřikovacích trysek až do spalínového traktu, z důvodu nižších teplot, se výrazně sníží náročnost na materiál použitý pro vstřikovací trysky a tím poklesnou pořizovací náklady. Zároveň se docílí větší životnosti trysek a tím se sníží i náklady na údržbu zařízení.

Účinnost odsířování pomocí NaHCO_3 dosahuje cca 70% při dávkování sorbentu 1,25 – 1,4 x oproti stechiometrii. Minimální možné dosažené emise SO_2 činí cca 300mg/m_N³ při použití ekonomického množství vstřikovaného aditiva. Zbytky ve spalinách se skládají z 80 % síranu sodného a zbývající část tvoří uhličitan sodný smíchaný s popílkem.

Chemické pochody





Obrázek 4.5 – Schéma odsíření hydrogenuhličitanem sodným za sucha

5. Metoda pro snížení emisí SO_2 vhodná pro kotel K 14 ETB, včetně úprav na spalínovodech a odpopílkování

Jako nejvhodnější byla vybrána metoda suché sorpce s použitím redukčního přípravku NaHCO_3 , a to z finančních i prostorových důvodů.

Tato technologie, která byla instalovaná na kotli K 14 je souhrn zařízení pro snížení emisí SO_2 ve spalínách vystupujících z kotle. Navržena je pro snížení emisí SO_2 v závislosti na požadavcích provozu o cca 40%, max. 60%.

Po stránce strojně-technologické je technologie členěna do dvou souborů:

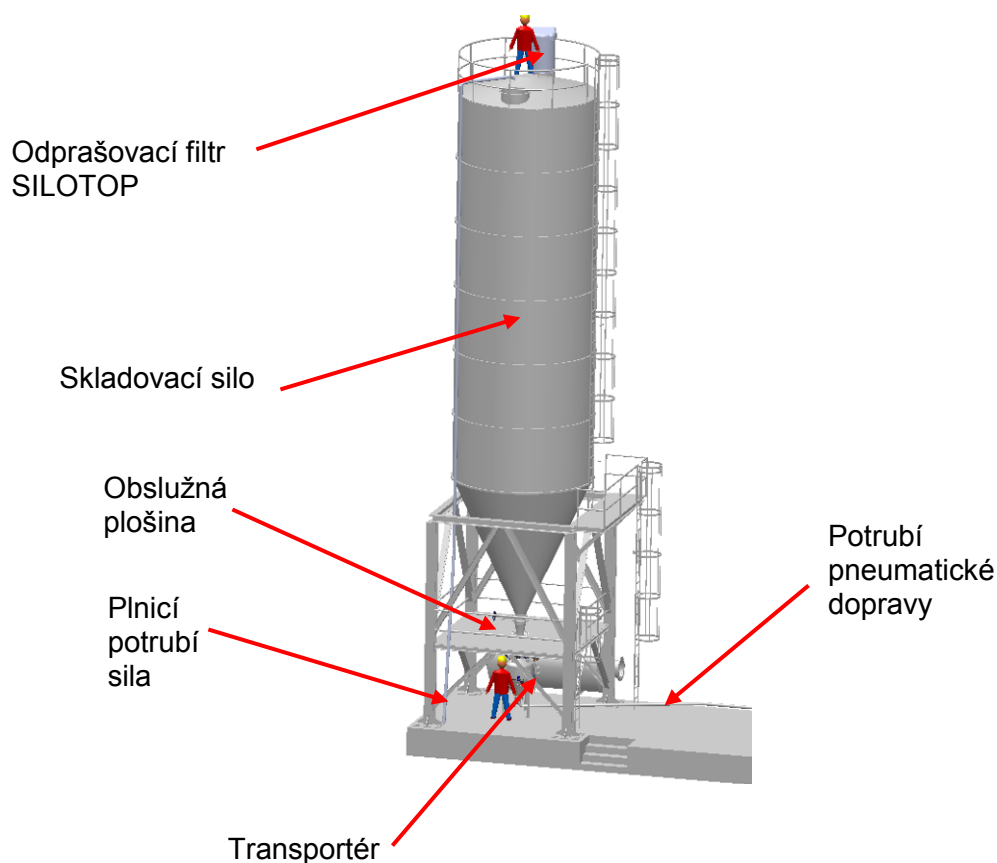
- pneumatická doprava redukčního činidla (NaHCO_3) ze stáčiště do provozního sila
- úprava a doprava redukčního přípravku do spalínovodu kotle K14

5.1 Technická data technologie snížení emisí SO₂

Skladovací kapacita	150m ³ (celkový objem zásobního sila)
	5m ³ (užitný objem provozního sila)
Redukční činidlo pro odsíření	Hydrogenuhličitan sodný (NaHCO ₃),
Kapacita pseudopravy ze skladovacího do provozního sila	max. 1600 kg/h
Kapacita úpravy a dopravy redukčního přípravku do spalínovodu kotle K14	< 800kg/h (při granulometrii d ₉₀ =20μm)

5.2 Skladovací silo 150 m³

Skladovací silo je umístěno ve stáčišti na podpůrné ocelové konstrukci, která je kotvena do základové desky. Silo je vybaveno zařízením potřebným pro spolehlivý a bezpečný provoz a příslušenstvím (tj. žebřík, zábradlí, včetně potrubních rozvodů, které umožňují plnění a vyprazdňování skladované látky, armatury, zařízením pro snímání výšky hladiny, odprašovacím filtrem apod.). Schéma skladovacího sila je znázorněno na obrázku 5.1.



Obrázek 5.1 - Schéma skladovacího sila 150m³ [5]

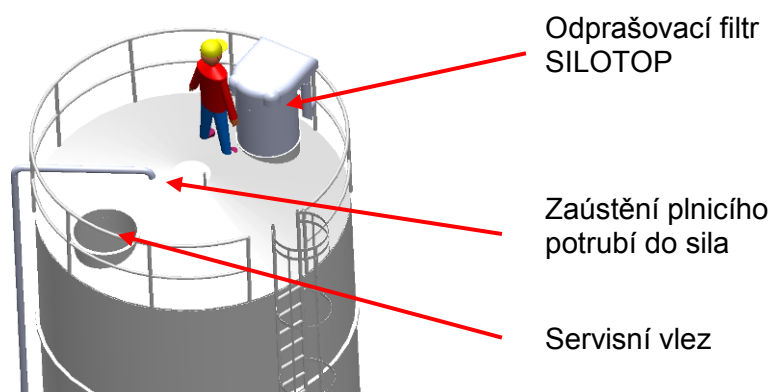
5.2.1 Technické údaje

Parametry	válcové ocelové silo s výsypkou
Skladovaný materiál	hydrogenuhličitan sodný (NaHCO ₃)
Sypná hmotnost	cca 1100 kg/m ³
Teplota materiálu	okolí (-20 až 45°C)
Materiálové provedení	ocel tř. 11
Celkový objem	150 m ³
Průměr válce	DN 4000
Výška válce	11000 mm
Výška výsypky	3190 mm
Čerání výsypky	16 ks Vibra-Disc, 4 úrovně
Odprašovací filtr	Silotop, filtrační plocha 24,5m ² , s regenerací tlakovým vzduchem

5.2.2 Vybavení vrchlíku sila

- Zaústění plnicího potrubí
- Zaústění odvzdušňovacího potrubí pseudopravy (komorového dopravníku)
- Filtrační jednotka pro odvětrání a odprášení při plnění sila
- Servisní vlez s jištěním v otevřené poloze víka
- Snímač kontinuální výšky hladiny – kontinuální měření s výstupem do ŘS
- Snímač maximální výšky hladiny - spínač s výstupem do ŘS a s bezpečnostní vazbou (při dosažení max. hladiny v síle dochází k uzavření hadicového ventilu (quetschventil) na vstupním plnicím potrubí) a místní signalizací, který slouží jako ochrana proti přeplnění sila.

Schéma vybavení vrchlíku sila je znázorněno na obrázku 5.2.



Obrázek 5.2 - Schéma vybavení vrchlíku [5]

5.2.3 Příslušenství vrchlíku sila - odprašovací filtr

Jedná se o kazetový filtr Silotop R02 s autonomní regenerací tlakovým vzduchem. Je umístěn na vrchlíku skladovacího sila 150m³.

Filtr	kazetový s Pulse-Jet regenerací
Médium	vzdušina s redukčním přípravkem NaHCO ₃
Materiál pláště	nerezový plech AISI 304 (1.4301)
Filtrační materiál	Skládaná kazeta – netkaný polyester

Filtrační plocha	24,5m ²
Vzduch pro regeneraci	5-7 bar, sušený
Spotřeba vzduchu	cca 4,5m _N ³ /h
Pracovní teplota	max. 80°C

Vybavení kužele sila:

- Výpadová příruba
- Ruční nožový uzávěr
- Provzdušňovací systém Vibra-Disc
- Snímač minimální a střední výšky hladiny - spínač s výstupem do ŘS (jsou na válcové části sila)

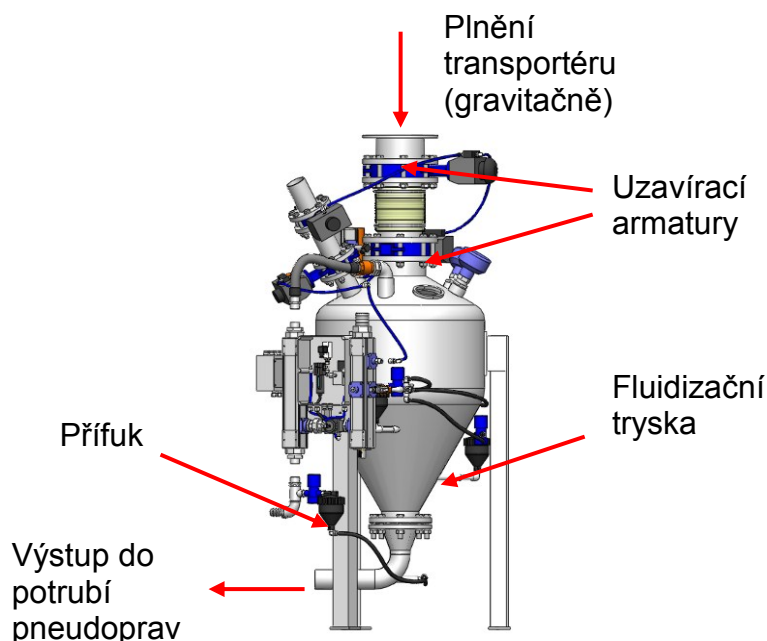
5.3 Vzdušník 5m³

Pro zajištění plynulé dodávky stlačeného vzduchu pro potřebu pneumatické dopravy je v prostoru stáčiště také umístěn ležatý vzdušník o celkovém objemu 5m³. Provozní tlak je 6 bar (max. 10bar/100°C), hmotnost 1206 kg, rozměry ϕ 1400-3620mm. Vzdušník má instalován ve spodní části odkalovací ventil zaslepený záslepkou. Vzdušník má v horní části instalovaný pojistný ventil.

5.4 Pneumatická doprava ze stáčiště do provozního sila

Doprava materiálu z venkovního zásobního sila do provozních sil v kotelně je pneumatická systémem FULL LINE. Transportér (komorový podavač) je vstupním místem pneumatické dopravy. Je umístěn pod skladovacím silem a zajišťuje plnění potrubní trasy dopravovaným materiálem. Plnění transportéru ze sila je gravitační. Transportér je tlaková nádoba na vstupní straně vybavená dvojicí uzavíracích armatur pro uzavření toku materiálu po jeho naplnění, fluidizačními tryskami, odvzdušňovacími klapkami pro odtlakování anebo odvodu vzduchu při plnění transportéru.

Schéma Transportéru je znázorněno na obrázku 5.3.



Obrázek 5.3 - Schéma Transportéru [5]

Potrubní trasa pneumatické dopravy redukčního přípravku pro odsíření spalín kotle K14 je vedena po novém potrubním mostě ve výšce cca +5,1 m. Po průchodu obvodovým pláštěm kotelný je uvnitř instalována potrubní dálkově řízená rozdělovací odbočka (typ BTD fy. DMN Westinghouse). Potrubí je dále vedeno do provozních sil, kde je zakončeno vírovými odlučovači. Potrubní trasa je po každých 3 m osazena přífuky (boostery) pro omezení usazování a zamezení zahlcení potrubní trasy dopravovaným materiálem.

5.5 Provozní silo 5m³

Silo je ocelový zásobník kuželovitého tvaru, uložený na ocelové konstrukci umístěný uvnitř budovy kotelný na kótě +0m. Silo je vybaveno zařízením potřebným pro spolehlivý a bezpečný provoz a příslušenstvím (tj. žebřík, zábradlí, včetně potrubních rozvodů, které budou umožňovat plnění a vyprazdňování skladovaného sorbentu, armatury, zařízení pro snímání výšky hladiny, odprašovací filtr apod.).

Snímač maximální provozní hladiny skladovaného redukčního přípravku v silo je výškově nastaven tak, aby byla v provozním silo rezerva pro dokončení započatého dopravního cyklu pseudopravy ze skladovacího sila 150 m³. Silo je dále osazeno snímačem minimální hladiny a kontinuálním měřením hladiny.

Vrchlák provozního sila je pochozí, a je osazen zábradlím, přístup na vrchlík je z úrovně podlahy kotelny prostřednictvím žebříku.

Sypná hmotnost	Cca 1300 kg/m ³
Teplota materiálu	okolí (-20 až 60 °C)
Užitný objem	5m ³
Celkový objem	6,8m ³
Průměr vrchlíku	φ 2750
Úhel kužele od základny	56°
Výška kužele	2700 mm
Celková výška	5100 mm
Čeření výsypky	horní 8 ks VibraDisc φ 51 mm (ve dvou úrovních) spodní 3 ks VibraDisc φ 29 mm
Odprašovací filtr	Silotop, filtrační plocha 24,5m ² , s regenerací tlakovým vzduchem

Vybavení vrchlíku provozního sila

- zaústění plnicího potrubí pseudopravy (vírový odlučovač DN300),
- odprašovací filtr s regenerací tlakovým vzduchem (Silotop 24,5m²),
- servisní vlez DN800,
- snímač kontinuální výšky hladiny – kontinuální měření s výstupem do ŘS,
- snímač maximální výšky hladiny - spínač s výstupem do ŘS a místní signalizací, který bude sloužit jako ochrana proti přeplnění sila.

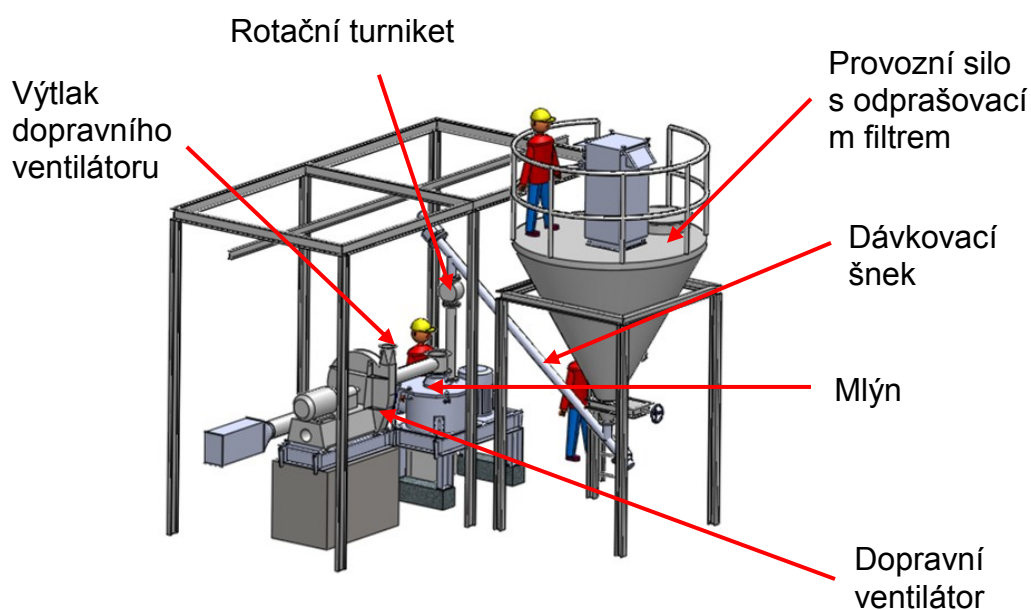
5.6 Úprava a doprava redukčního přípravku do spalínovodu kotle K14

Zařízení pro úpravu a dopravu redukčního přípravku do kotle K14 se skládá z těchto zařízení:

- Mlýn
- Dopravní ventilátor
- Rotační turniket
- Dávkovací šnek
- Propojovací potrubí
- Trysky

Hlavním účelem skupiny výše uvedených zařízení je odebrat redukční přípravek z provozního sila, následné provedení mletí a dopravy jemně mletého redukčního přípravku do spalínovodu kotle K14 při zajištění optimálních provozních podmínek.

Schéma zařízení pro úpravu a dopravu redukčního přípravku do kotle je znázorněno na obrázku 5.5.



Obrázek 5.5 - Schéma zařízení pro úpravu a dopravu redukčního přípravku [5]

Vlastní dopravu jemně mletého redukčního přípravku pro odsíření spalín do spalínovodu K14 zajišťuje dopravní ventilátor, který nasává redukční přípravek z mlýnu a ocelovým potrubím dopravuje zaprášenou vzdušinu s redukčním

přípravkem do injektážních trysek, které jsou zaústěny do spalínovodu kotle K14.

5.6.1 Mlýn

Mlýn redukčního přípravku (NaHCO_3) je klasifikační mlýn s impaktivním mlecím segmentem a vertikálně uloženým oběžným třídícím kolem. Příklad materiálu do mlýnu je gravitačně z šikmě uloženého šnekového dopravníku přes rotační turniket. Mlýn je vybaven čištěním ložisek tlakovým vzduchem. Okolní vzduch, který je nasáván přes tlumič hluku slouží zejména k vlastnímu chlazení mlýnu a jako nosné médium pro dopravu mletého redukčního přípravku do spalínovodu kotle K14. Množství nasávaného vzduchu je měřeno snímačem a nastavováno klapkou.

Typ	ALPINE Powderplex-Classifier Mill 400APP
Kapacita	Max. 800kg/h
Granulometrie	$d_{90} = 20\mu\text{m}$
Tlakové podmínky	podtlakový provoz
Průtok vzduchu	max 4000m ³ /h (průměrně 3200 m ³ /h)
Průtok proplachovacího vzduchu	15 až 20 m ³ /h (přetlak 0,2 až 0,5 bar)
Otáčky mlýnu	1700 ot/min
Motor	55 kW, 400V, 50Hz
Pohon	řemenový převod

5.6.2 Dopravní ventilátor

Radiální ventilátor pro dopravu vzdušiny s redukčním přípravkem do spalínovodu kotle K14.

Parametry

Typ	RVVBD-224-KS
Médium	vzdušina s redukčním přípravkem NaHCO_3

Oběžné kolo	otevřené oběžné kolo, dozadu zahnuté lopatky, pomocné lopatky na zadní straně oběžného kola
Průtok	1,33 m ³ /s
Celkový tlak Δp_c	16 kPa
Hustota	1,2 kg/m ³ při 20°C
Pracovní teplota	max. 50°C

5.7 Rotační turniket

Odděluje prostory s rozdílným tlakem, omezuje vysávání redukčního přípravku ze šnekového dopravníku mlýnem.

Parametry

Typ	RTB160 ZVVZ
Médium	Redukční přípravek pro odsíření spalin – hydrogenuhličitan sodný (NaHCO ₃)
Granulometrie	0,1 až 0,5mm, max. 2mm
Sypná hmotnost	Cca 1100kg/m ³
Kapacita	4m ³ /h při 100% plnění
Pohon	přes převodovku
Převodovka	SK 2SM50AF-71S/4

5.8 Dávkovací šnek

Slouží pro plynulé dávkování redukčního přípravku změnou otáček prostřednictvím frekvenčního měniče.

Parametry

Typ	SPO Ø 122 mm, délka 4,2m, sklon 49°
Médium	hydrogenuhličitan sodný (NaHCO ₃)
Materiál	ocel třídy 11
Kapacita	max. 800kg/h
Granulometrie	0,1 až 0,5mm, max. 2mm

6. Určení množství spalin a spotřeby reagentu

6.1 Parametry paliva

Na základě chemických rozborů paliva spalovaného v kotli K 14 (černý prach), byly vypočteny průměrné hodnoty, které jsou uvedeny v tabulce 6.1.

Veličina	Označení	Průměrné hodnoty	Jednotka
Výhřevnost	Q_i^r	27,07	MJ.kg ⁻¹
Voda	W_t^r	6.95	% hmot.
Popel	A^d	13,73	% hmot.

Tabulka 6.1 – Základní parametry černého uhelného prachu

Prvkový rozbor

C^{daf}	87,658 %
H^{daf}	5,215 %
N^{daf}	1,332 %
O^{daf}	5,238 %
S^{daf}	0,556 %

6.1.1. Přepočet prvkového rozboru na surový stav

K výpočtu musí být známo prvkové složení paliva. Hořlavé složky v 1 kg paliva ve stavu spalovaném jsou určeny prvkovým složením hořlaviny

$$C^{daf} + H^{daf} + S^{daf} + O^{daf} + N^{daf} = 1 \quad [\text{kg/kg}] \quad (1)$$

a v surovém stavu s obsahem balastu, tj. obsahem vody W^r [kg/kg] a popela A^r [kg/kg]

$$C^r + H^r + S^r + O^r + N^r + W^r + A^r = 1 \quad [\text{kg/kg}] \quad (2)$$

Z prvkového složení hořlaviny přepočteme obsahy jednotlivých prvků na surový stav (v původním palivu).

Výpočet obsahu popela v surovém stavu

$$A^r = A^d \cdot (1 - W^r) \quad (3)$$

$$A^r = 0,1373 \cdot (1 - 0,0695)$$

$$A^r = 0,1278$$

$$A^r = 12,78\%$$

Výpočet jednotlivých složek paliva

$$C^r = C^{daf} \cdot (1 - W^r - A^r) \quad (4)$$

$$C^r = 0,87658 \cdot (1 - 0,0695 - 0,1278)$$

$$C^r = 0,7036$$

$$C^r = 70,36\%$$

$$H^r = H^{daf} \cdot (1 - W^r - A^r) \quad (5)$$

$$H^r = 0,05215 \cdot (1 - 0,0695 - 0,1278)$$

$$H^r = 0,0419$$

$$H^r = 4,19\%$$

$$N^r = N^{daf} \cdot (1 - W^r - A^r) \quad (6)$$

$$N^r = 0,01332 \cdot (1 - 0,0695 - 0,1278)$$

$$N^r = 0,0107$$

$$N^r = 1,07\%$$

$$O^r = O^{daf} \cdot (1 - W^r - A^r) \quad (7)$$

$$O^r = 0,05238 \cdot (1 - 0,0695 - 0,1278)$$

$$O^r = 0,042$$

$$O^r = 4,2\%$$

$$S^r = S^{daf} \cdot (1 - W^r - A^r) \quad (8)$$

$$S^r = 0,00556 \cdot (1 - 0,0695 - 0,1278)$$

$$S^r = 0,00446$$

$$S^r = 0,446\%$$

6.1.2. Výpočet spotřeby paliva

Množství paliva stanovíme z účinnosti a výkonu kotle

$$Q_k = m_{\text{pal}} \cdot Q_i^r \cdot \eta_k \quad \Leftrightarrow \quad m_{\text{pal}} = \frac{Q_k}{Q_i^r \cdot \eta_k} \quad (9)$$

$$m_{\text{pal}} = \frac{161}{27,07 \cdot 0,90}$$

$$\underline{m_{\text{pal}}} = 6,61 \text{ kg/s}$$

kde	Q_k	výkon kotle [MW _t]
	m_{pal}	množství paliva [kg/s]
	Q_i^r	výhřevnost paliva [MJ/kg]
	η_k	účinnost kotle

Hmotnostní tok síry do kotle spolu s palivem

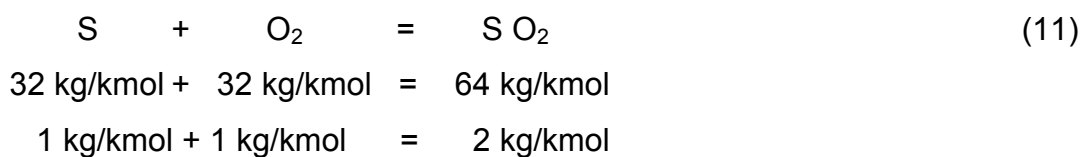
$$m_s = m_{\text{pal}} \cdot \left(\frac{S^r}{100} \right) \quad (10)$$

$$m_s = 6,61 \cdot \left(\frac{0,446}{100} \right)$$

$$m_s = 0,029 \text{ kg/s}$$

kde m_s množství síry (hmotnostní tok) [kg/s]

Hmotnostní tok SO₂ z kotle



$$m_{SO_2\text{vstup}} = m_s \cdot 2 \quad (12)$$

$$m_{SO_2\text{vstup}} = 0,029 \cdot 2$$

$$m_{SO_2\text{vstup}} = 0,058 \text{ kg/s}$$

$$m_{SO_2\text{vstup}} = m_{SO_2\text{vstup}} \cdot 3600 = 208,8 \text{ kg/h}$$

Výpočet množství spalín

Ze stechiometrických rovnic pro dokonalé spalování stanovíme

- minimální množství kyslíku:

$$O_{2\min} = 22,4 \cdot \left[\frac{C^r}{12} + \frac{1}{4} \left(H_2^r - \frac{O_2^r}{8} \right) + \frac{S^r}{32} \right] \quad (13)$$

$$O_{2\min} = 22,4 \cdot \left[\frac{0,7036}{12} + \frac{1}{4} \left(0,0419 - \frac{0,042}{8} \right) + \frac{0,00446}{32} \right]$$

$$O_{2\min} = 1,522 \text{ m}_N^3 / \text{kg}$$

- minimální množství suchého vzduchu:

$$V_{\text{vz min}}^s = \frac{1}{0,21} \cdot O_{2\min} \quad (14)$$

$$V_{\text{vz min}}^s = \frac{1}{0,21} \cdot 1,522$$

$$V_{\text{vz min}}^s = 7,25 \text{ m}_N^3 / \text{kg}$$

- skutečné množství suchého vzduchu při průměrné hodnotě přebytku $\alpha=1,18$:

$$V_{\text{vz}}^s = \alpha \cdot V_{\text{vz min}}^s \quad (15)$$

$$V_{\text{vz}}^s = 1,18 \cdot 7,25$$

$$V_{\text{vz}}^s = 8,551 \text{ m}_N^3 / \text{kg}$$

- skutečné množství vlhkého vzduchu při průměrné hodnotě přebytku $\alpha=1,18$:

$$V_{vz} = V_{vz}^s \cdot \left(1 + \frac{\varphi_{vz} \cdot p_{p,vz}''}{p_c - \varphi_{vz} \cdot p_{p,vz}''} \right) \quad (16)$$

$$V_{vz} = 8,551 \cdot \left(1 + \frac{0,6 \cdot 2,34}{98,6 - 0,6 \cdot 2,34} \right)$$

$$V_{vz} = 8,674 m_N^3 / kg$$

kde $\varphi_{vz}=60\%$

relativní vlhkost vzduchu

$p_{p,vz}''=2,34$ kPa

tlak syté páry při teplotě vzduchu $t_{vz}=20^\circ\text{C}$

a tlaku vzduchu $=98,6$ kPa

p_c

tlak vlhkého vzduchu, obvykle $p_c=p_{bar}$

- minimální množství suchých spalin:

$$V_{spmin}^s = 22,4 \cdot \frac{C^r}{12} + 22,4 \cdot \frac{S^r}{32} + 22,4 \cdot \frac{N_2^r}{28} + 0,79 \cdot V_{vzmin}^s \quad (17)$$

$$V_{spmin}^s = 22,4 \cdot \frac{0,7076}{12} + 22,4 \cdot \frac{0,00446}{32} + 22,4 \cdot \frac{0,0107}{28} + 0,79 \cdot 7,25$$

$$V_{spmin}^s = 7,05 m_N^3 / kg$$

- skutečné množství suchých spalin:

$$V_{sp}^s = V_{spmin}^s + (\alpha - 1) \cdot V_{vzmin}^s = V_{spmin}^s + 0,79 \cdot (\alpha - 1) \cdot V_{vzmin}^s + 0,21 \cdot (\alpha - 1) \cdot V_{vzmin}^s \quad (18)$$

$$V_{sp}^s = 7,05 + (1,18 - 1) \cdot 7,25$$

$$V_{sp}^s = 8,355 m_N^3 / kg$$

- skutečné množství vlhkých spalin:

$$V_{sp} = V_{sp}^s + \frac{1}{0,804} \cdot (9 \cdot H_2^r + W^r) + V_{vz}^s \cdot \frac{\varphi_{vz} \cdot p_{p,vz}''}{p_c - \varphi_{vz} \cdot p_{p,vz}''} \quad (19)$$

$$V_{sp} = 8,355 + \frac{1}{0,804} \cdot (9 \cdot 0,0419 + 0,0695) + 8,551 \cdot \frac{0,6 \cdot 2,34}{98,6 - 0,6 \cdot 2,34}$$

$$V_{sp} = 9,033 m_N^3 / kg$$

Spálením 1kg paliva vznikne 9,033 m_N³ spalin.

Výpočet množství spalin při jmenovitém výkonu

$$M_{sp} = V_{sp} \cdot m_{pal} \quad (20)$$

$$M_{sp} = 9,033 \cdot 6,61$$

$$M_{sp} = 59,708 m_N^3 / s$$

Hmotnostní tok SO₂ na výstupu při odsíření (60% snížení SO₂)

Množství síry ve spalinách na výstupu

$$\eta_{ODS} = \frac{m_{SO_2 \text{ vstup}} - m_{SO_2 \text{ výstup}}}{m_{SO_2 \text{ vstup}}} \cdot 100 \quad (21)$$

$$m_{SO_2 \text{ výstup}} = m_{SO_2 \text{ vstup}} - \eta_{ODS} \cdot m_{SO_2 \text{ vstup}}$$

$$m_{SO_2 \text{ výstup}} = 0,058 - 0,6 \cdot 0,058$$

$$m_{SO_2 \text{ výstup}} = 0,0232 kg / s$$

Určení stechiometrické spotřeby hydrogenuhličitanu sodného

Množství hydrogenuhličitanu sodného pro získání uhličitanu sodného



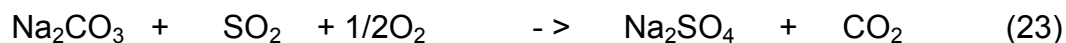
$$2 \cdot (23 + 1 + 12 + (3 \cdot 16)) \rightarrow 2 \cdot 23 + 12 + (3 \cdot 16) + 12 + (2 \cdot 16) + 2 \cdot 1 + 16$$

$$168 \quad \quad \quad - > \quad 106 \quad \quad + \quad 44 \quad \quad + \quad 18$$

$$168 \quad \quad \quad - > \quad 168$$

$$\text{Na } 1kg \text{ Na}_2\text{CO}_3 \text{ potřebujeme } \frac{168}{106} \text{ kg NaHCO}_3 \text{ tj. } 1,585 \text{ kg NaHCO}_3$$

Odsíření pomocí uhličitanu sodného probíhá dle výše uvedené rovnice (22)



$$2 \cdot 23 + 12 + (3 \cdot 16) + 32 + (2 \cdot 16) + 16 \rightarrow 2 \cdot 23 + 32 + (4 \cdot 16) + 12 + (2 \cdot 16)$$

$$[106] + [64] + [16] \rightarrow [142] + [44]$$

$$186 = 186$$

Na 1kg SO₂ potřebujeme $\frac{106}{64}$ kg Na₂CO₃ tj. 1,656 kg Na₂CO₃

Při požadované účinnosti odsíření 60% bude zapotřebí 0,0576 kg/s Na₂CO₃, respektive 0,091 kg/s NaHCO₃.

Určení skutečné spotřeby hydrogenuhličitanu sodného

Pro dosažení požadované účinnosti odsíření je doporučen přebytek 1,2. Skutečné množství hydrogenuhličitanu sodného je pak vypočteno dle rovnice (22).

$$m_{\text{NaHCO}_3,sk} = m_{\text{NaHCO}_3,stech} \cdot 1,2 \quad (24)$$

$$m_{\text{NaHCO}_3,sk} = 0,091 \cdot 1,2$$

$$m_{\text{NaHCO}_3,sk} = 0,11 \text{ kg/s}$$

7. Způsob nakládání s vedlejšími energetickými produkty kotle K 14 při použití nové metody snižování emisí SO₂

7.1. Popílek

Po uvedení zařízení na snižování emisí SO₂ do provozu došlo k znehodnocení popílku sírany. Z tohoto důvodu je tento vedlejší energetický produkt pro využití ve výrobě stavebních hmot nepoužitelný. Takto znehodnocený popílek je pomocí cisteren odvážen do provozovny na výrobu zálivkové směsi pro likvidaci důlních děl, případně nefunkčních energetických kanálů.

7.2. Struska

Chemické složení strusky nebylo uvedením zařízení na snižování emisí SO₂ do provozu změněno a i nadále bude využívána na tryskání litinových segmentů a ocelových konstrukcí.

8. Ekonomické posouzení navržené metody snižování emisí SO₂

Realizace této technologie proběhla v rámci společného investičního záměru DeNO_x, DeSO_x kotle K 13 a K 14. Celkové náklady byly ve výši 56 700 000,-Kč, část nákladů ve výši 12 310 000,-Kč byla hrazena z dotací operačního programu životního prostředí. Přesnou výši investic výlučně pro odsíření spalín kotle K 14 není možné přesně vyčíslit.

Pro ekonomické posouzení navržené metody bylo proto možné vycházet pouze z dostupných údajů.

Kotel vyprodukuje za rok (cca 5 760 provozních hodin) 1 222t SO₂. Při požadovaném 60% snížení emisí SO₂, to znamená snížení o 733t SO₂ za rok.

Při výši poplatku 1 000,-Kč/t SO₂ vypuštěného do ovzduší činí úspora 733 000,-Kč/rok. Na odsíření 733t SO₂ je zapotřebí cca 2 272,87t NaHCO₃, což při ceně 6 000,-Kč/t NaHCO₃ za rok činí náklad ve výši 13 637 000,-Kč.

Z výše uvedeného je patrné, že náklady na roční provoz kotle vzrostly o 12 904 000,-Kč. V této ceně není započtena cena za elektrickou energii, která je nutná pro provoz celého odsiřovacího zařízení.

Další zhoršení ekonomické bilance použité technologie bylo způsobeno znehodnocením popelovin a to zejména síranem sodným. Popílek z kotle K14 byl původně odvážen jako produkt do závodu na výrobu cementu a sybkých stavebních hmot, což při použití technologie odsiřování pomocí hydrogenuhličitanu sodného není možné.

Provozovatel zařízení si nepřeje zveřejnit údaje o výkupních cenách popelovin, tudíž není možné provést posouzení ekonomického vlivu znehodnocených popelovin na použitou technologii pro snížení emisí SO₂.

9. Závěr

Jak bylo provozem prokázáno, byl aplikací odsiřovacího zařízení na kotli K 14 v ETB, který při spalování černého uhelného prachu bez použití odsiřování spalin nebyl schopen plnit emisní limity dané současnou legislativou, splnění závazek, kterým se společnost Dalkia Česká republika, a.s. zavázala statutárnímu městu Ostrava, snížit od roku 2010 emise o 10% pod legislativou stanoveným emisním stropem ETB. Aplikací odsiřovacího zařízení však došlo ke znehodnocení popelovin sírany. Pro takto znehodnocené popeloviny, se momentálně hledá ekonomicky výhodnější využití.

10. Seznam použité literatury

- [1] Noskiewič, P.: Spalování uhlí. VŠB-TUV Ostrava, Ostrava 2002, ISBN 80-248.0204-X.
- [2] Vejvoda, J., Machač, P., Buryan, P.: Technologie ochrany ovzduší a čištění odpadních plynů. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2003, ISBN 03-334-17/03.
- [3] Ibier, Z. a kol.: Technický průvodce energetika. BEN – technická literatura, Praha 2002, ISBN 80-7300-026-1.
- [4] Místní provozní a pracovní předpis ev. č. ETB-MPP-4.9/03.08 (1.4.2002)
- [5] Technická zpráva kotle K 13 a K 14 – Eveco Brno

Internetové stránky

- [6] <http://www.vodni-tepelne-elektrarny.cz>
- [7] <http://www.solvaybicar.com/>
- [8] <http://www.vumo.cz/>
- [9] <http://www.vscht.cz>
- [10] <http://www.fsid.cvut.cz/>

11. Seznam obrázku

Obrázek 2.1 - Schéma kotle

Obrázek 4.1 - Schéma mokré odsiřovací metody

Obrázek 4.2 - Schéma polosuché odsiřovací metody

Obrázek 4.3 - Schéma vstříku a odloučení vápenného mléka po reakci

Obrázek 4.4 - Schéma suché aditivní vápencové metody

Obrázek 4.5 - Schéma odsíření hydrogenuhličitanem sodným za sucha

Obrázek 5.1 - Schéma skladovacího sila 150m³

Obrázek 5.2 - Schéma vybavení vrchlíku

Obrázek 5.3 - Schéma Transportéru

Obrázek 5.4 - Schéma zařízení pro úpravu a dopravu redukčního přípravku

12. Seznam tabulek

Tabulka 6.1 - Základní parametry černého uhelného prachu

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Michalu Stáňovi, PhD. za odborné vedení mé práce.

Miroslav Pajchl